

Effet à long terme de la fertilisation organo-minérale sur la fertilité du sol et le rendement du riz en monoculture de bas-fond au Mali

Moumini GUINDO^{1*}, Salif DOUMBIA¹, Yaya KONE¹, Boubié Vincent BADO²,
Abdoulaye MOHOMODOU¹ et Amakéné NIANGALY¹

¹ Institut d'Economie Rurale (IER), Centre Régional de la Recherche Agronomique (CRRA) de Sikasso,
Programme Riz de Bas-fond, BP16, Sikasso, Mali

² Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Station de Farako-Bâ,
01 BP 910 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

(Reçu le 21 Décembre 2023 ; Accepté le 25 Janvier 2024)

* Correspondance, courriel : moumini.guindo@yahoo.fr

Résumé

Cette contribution a pour but d'évaluer les performances de deux sources de fertilisation sur les caractéristiques du sol et le rendement du riz de bas-fond dans un système de monoculture à long terme. La variété de riz BW 348-1 a été utilisée comme matériel végétal. Les travaux ont été réalisés de 2002 à 2018 à la station de recherche agronomique de Longorola (Sikasso). La fertilisation minérale (F1, F2, F3) et organique (M1, M2, M3) a été prise à 3 niveaux de variation chacune. Le dispositif était en blocs de Fisher de 9 traitements répétés 4 fois. Les résultats montrent que malgré la teneur moyenne de la matière organique du sol, le pH_{eau} montre une forte acidité du sol et une déficience cruciale du phosphore assimilable. Le traitement de 100 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ + 25 kg.ha⁻¹ K₂O (F3) et de 5 t.ha⁻¹ de fumier de bovin (M3), ont obtenu 2,6 t.ha⁻¹ de riz, significativement plus élevés de 6 % que celui de 50 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ (F2) et de 2,5 t.ha⁻¹ de paille de riz enfoui (M2). L'effet combiné de la fertilisation organo-minérale n'a montré aucune différence significative (Prob = 0,121) entre les traitements. Les résultats montrent qu'en fonction des années, le plus bas rendement de 2 t.ha⁻¹ obtenu au début (2002) a augmenté respectivement de 26 % et 42 % en 3^{ème} et 5^{ème} années, mais a connu une baisse de 50 % en 12^{ème} et 13^{ème} années. Cette baisse de rendement a été causée par des fortes quantités de pluies fréquentes qui ont suivi le repiquage du riz et qui ont inondé les parcelles. L'application de 50 kg.ha⁻¹ N (F2) a permis une bonne efficacité de l'utilisation de l'azote par rapport à 100 kg.ha⁻¹ (F3). Une étude serait nécessaire pour évaluer l'effet de l'écoulement des eaux sur la fertilité du sol, au regard de la dynamique des eaux de pluies dans le bas-fonds.

Mots-clés : *bas-fond, engrais, riz, sol, Sikasso.*

Abstract

Long-term effect of organo-mineral fertilization on soil fertility and rice yield in lowland monoculture in Mali

This contribution aims to evaluate the performance of two fertilization sources on soil characteristics and lowland rice yield in a long-term monoculture system. The BW 348-1 rice variety was used as plant material. The work was carried out between 2002 and 2018 at the Longorola agricultural research station (Sikasso). Mineral fertilisation (F1, F2, F3) and organic fertilisation (M1, M2, M3) were taken at 3 levels of variation each. The device was in Fisher blocks of 9 treatments repeated 4 times. The results show that despite the average content of soil organic matter, pHwater shows high soil acidity and a crucial deficiency of assimilable phosphorus. The treatment of 100 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ + 25 kg.ha⁻¹ K₂O (F3) and 5 kg.ha⁻¹ of cattle manure (M3) obtained 2.6 kg.ha⁻¹ of rice, significantly higher by 6 % than that of 50 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ (F2) and that of 2.5 kg.ha⁻¹ of buried rice straw (M2). The combined effect of organo-mineral fertilization showed no significant difference (Prob = 0.121) between treatments. The results show that depending on the year, the lowest yield (2 t.ha⁻¹) obtained at the beginning (2002) increased by 26 % and 42 % respectively in years 3rd and 5th years, but experienced a drop of 50 % in 12th and 13th years. This drop in yield was caused by frequent heavy amounts of rain which followed the rice transplanting and which flooded the plots. The application of 50 kg.ha⁻¹ N (F2) allowed good nitrogen use efficiency compared to 100 kg.ha⁻¹ (F3). A study would be necessary to assess the effect of water flow on soil fertility, with regard to the dynamics of rainwater in the lowlands.

Keywords : *lowland, fertilizer, rice, soil, Sikasso.*

1. Introduction

Le riz (*Oryza sativa* L.) est la céréale troisième céréale la plus consommée au monde après le blé et le maïs [1]. La demande de riz augmente de plus de 6 % par an plus rapidement que pour tout autre aliment de base dans le pays, en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation et des changements dans les préférences des consommateurs [2]. Selon les prévisions de la Banque mondiale, la production de riz usinée est estimée à 509,2 millions de tonnes en 2020 [3]. Contrairement à l'Asie, le riz est le plus souvent cultivé en Afrique subsaharienne dans des conditions pluviales [4], d'où il existe une forte pression sur les ressources foncières en raison de la forte croissance de la population et de la demande alimentaire [5]. Cette céréale est l'une des cultures vivrières les plus importantes avec sa consommation qui croît plus rapidement que celle des autres denrées alimentaires [6]. Cependant, les sols cultivés en riz sont tout de même globalement caractérisés par leur pauvreté en éléments nutritifs, leur faible teneur en argile et en carbone organique et leur faible capacité d'échange [7]. Pour améliorer la production afin de répondre au besoin alimentaire, l'un des défis est le maintien de la fertilité des sols. La gestion de la fertilité des sols peut contribuer à l'amélioration de la productivité à travers une meilleure intensification de certaines pratiques agroécologiques [8]. Au Mali, le secteur de l'agriculture contribue pour 40 % dans le PIB [9] et le riz représente une importante filière de ce secteur. En zone Mali-Sud, les petites plaines inondables et le potentiel en bas-fonds aménageables sont évalués à près de 300 000 ha dont seulement 16 % sont cultivés [10]. Cette superficie représente environ 8 % des surfaces rizicoles au Mali [11], alors que dans ces bas-fonds, la production du riz constitue la principale source de revenu monétaire des populations, notamment les femmes. Certains bas-fonds, au régime hydrique favorable à la production agricole, sont exploités non seulement en hivernage avec le riz, mais aussi en contre saison avec la pomme de terre et les cultures maraîchères. Dans ces conditions, les producteurs n'étant pas à mesure de laisser les sols se reposer suffisamment, font face à de nombreuses contraintes qui limitent la productivité [12] avec des rendements variant de 400 à 2,5 t.ha⁻¹

de riz paddy [13]. Ce rendement ne représente que 31 à 44 % du potentiel des variétés utilisées, telles que BW348-1, ARICA3, SIK 350-A150 [13]. Selon [14] une intensification de la riziculture ne peut pas se faire sans une bonne fertilisation. Des résultats d'essais de gestion de la fertilité des sols à long terme [15] ont montré que la double culture du riz avec l'application appropriée d'engrais peut être durable. Si les engrais minéraux sont systématiquement utilisés dans le système de riziculture irriguée, ils sont cependant limités en riziculture de bas-fond [16]. Dans les zones agroécologiques de bas fond, bien que des options agronomiques soient étudiées dans la littérature, il existe peu d'information sur les stratégies de fertilisation combinant la restitution systématique de paille de riz produite sur la parcelle, le fumier bovin et les engrais minéraux. L'étude a été conduite dans le but d'évaluer la réponse du riz à différentes sources de fertilisation organo-minérale, dans un système de monoculture continue à long terme. L'utilisation de ces sources organo-minérales peut constituer une alternative à la gestion durable de la fertilité du sol et à l'amélioration de la productivité du riz dans le bas-fond.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel

2-1-1. Présentation du site d'étude

L'étude a été conduite de 2002 à 2018 à la station de recherche agronomique de Longorola (Latitude 11°23'05.7" Nord et Longitude 5°39'39.2" Ouest ; altitude 346 m), situé à 8 km au nord de Sikasso (*Figure 1*). Le climat est de type soudanien, marqué par une alternance de saison pluvieuse de mai à octobre et sèche de novembre à avril avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1100 mm. L'évolution de la pluviométrie selon les années est donnée en *Figure 2*. La température moyenne varie de 26°C à 39°C par an [17]. L'étude a été réalisée en période d'hivernage, où le bas-fond de Longorola présente un engorgement d'eau de juillet à novembre avec une frange d'eau semi-permanente de 25 cm en moyenne. Le sol est de type hydromorphe, profond avec une texture limoneuse à la surface et riche en matière organique. Il est formé sur des alluvions fines, marqués par un facteur d'évolution important : l'hydromorphie qui résulte d'un engorgement prolongé d'eau pendant la période d'inondation allant de Juillet à Novembre. Selon la classification des sols mise au point en France de 1964 à 1967 par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS), cette unité de sol serait classée parmi les sols hydromorphes à gley d'ensemble souvent associés aux sols hydromorphes à amphigley.

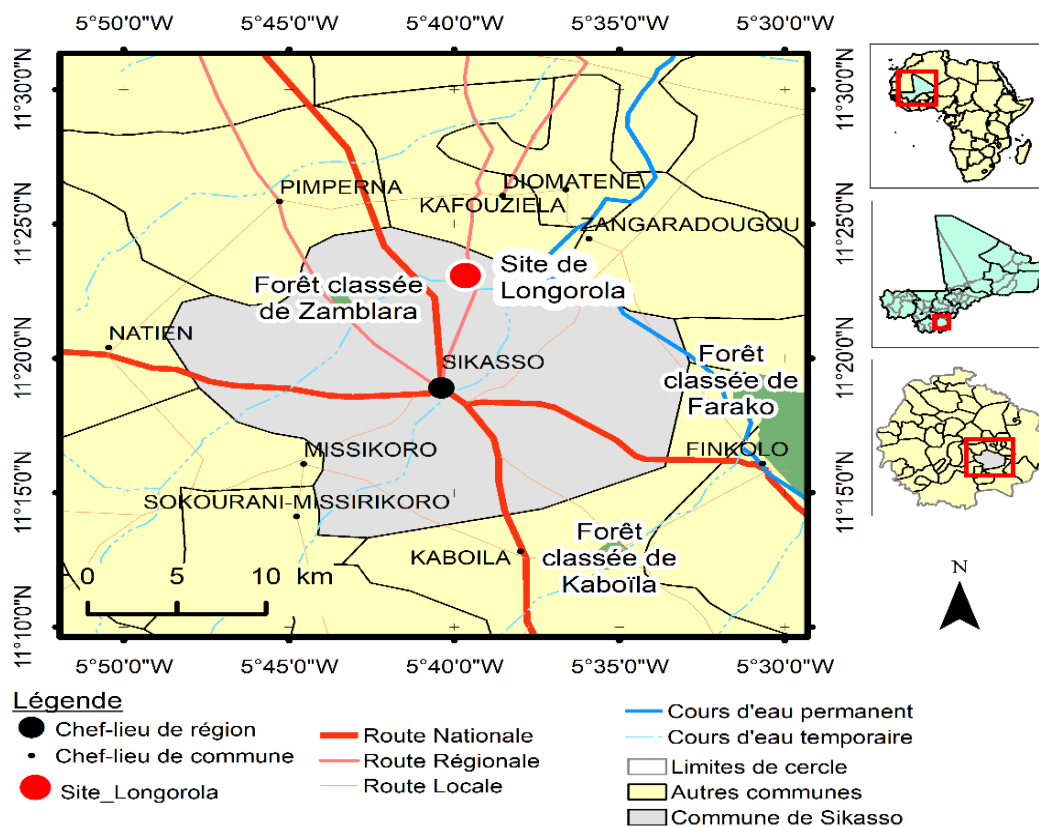


Figure 1 : Localisation du bas-fond de Longorola

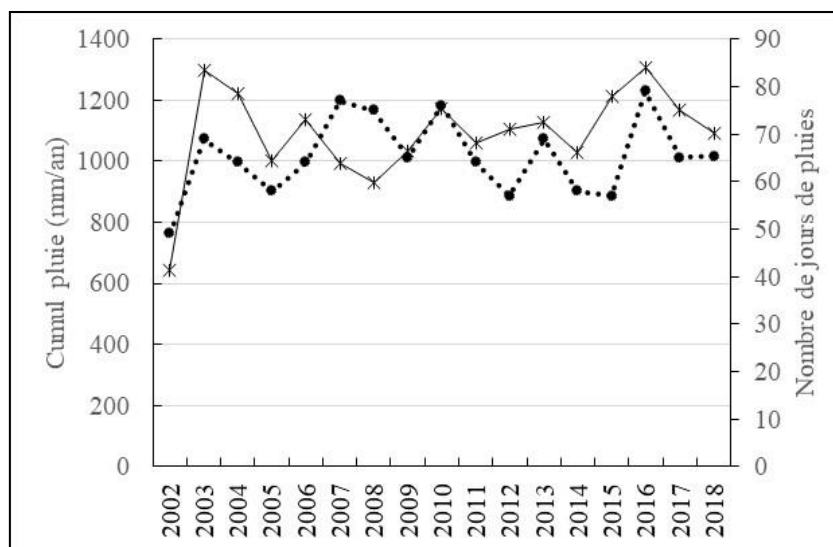


Figure 2 : Évolution de la pluviométrie annuelle à Longorola durant les 17 années d'expérimentation (2002 - 2018)

2-1-2. Matériel végétal

La variété de riz de bas-fond BW348-1 a été utilisée comme matériel végétal. Elle a un cycle semis-maturité de 99 jours avec un potentiel de rendement grain en station de 4,5 à 5 t.ha⁻¹ et de 3,5 à 4,5 t.ha⁻¹ en milieu paysan. Elle a une vocation culturale dans une lame d'eau de frange moyenne (25 à 50 cm).

2-2. Méthodes

2-2-1. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé a été un factoriel en blocs de Fisher avec deux facteurs et 4 répétitions. Les parcelles élémentaires avaient une surface de 20 m², soit 4 m x 5 m.

2-2-2. Facteurs étudiés

Les Deux facteurs ont fait l'objet de cette étude, à savoir :

- ✓ La fertilisation minérale prise à 3 niveaux de variation comme facteur principal ;
- ✓ La restitution organique (fumier bovin, paille de riz) prise à 3 niveaux de variation constitue le facteur secondaire.

Fertilisation minérale :

- F1 : aucun apport d'engrais minéral
- F2 : 50 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅
- F3 : 100 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ + 25 kg.ha⁻¹ K₂O

Les nutriments minéraux ont été utilisés sous forme d'engrais (urée, triple superphosphate TSP 44-53 % de P₂O₅ et le KCl 60-62 % de K₂O). Le phosphore et le potassium ont été appliqué comme engrais de fond et l'urée en une ou 2 fractions de 50 kg.ha⁻¹ au tallage et/ou à l'initiation paniculaire, appliqué en fonction des traitements.

Restitution organique :

- M1 : aucun apport de matière organique
- M2 : restitution de 2,5 t.ha⁻¹ de paille de riz produite sur la parcelle
- M3 : 5 t.ha⁻¹ de fumier bovin

La restitution organique de 2,5 t.ha⁻¹ de paille de riz et de 5 t.ha⁻¹ de fumier bovin ont été appliquées par an avec l'enfouissement par le labour.

2-2-3. Traitements

Les traitements constitués par la combinaison des niveaux des deux facteurs sont : F1M1, F1M2, F1M3, F2M1, F2M2, F2M3, F3M1, F3M2, F3M3.

2-2-4. Opérations culturales et récolte

Pour la mise en place de l'essai, il a été procédé au piquetage, au labour et au nivellement de la parcelle, suivi de la confection des diguettes autour des parcelles élémentaires. Le premier désherbage a eu lieu 15 jours après le repiquage et les autres suivant l'état d'enherbement de la parcelle. Le repiquage a été effectué en poquets aux écartements de 20 cm x 20 cm. La densité de repiquage a été de deux plants par poquet, soit 500 000 plants à l'hectare. La récolte a été effectuée sur les lignes centrales en éliminant les deux lignes de bordure de chaque côté, afin d'éviter l'effet des bordures.

2-2-5. Analyse de sol

Des échantillons de sol ont été prélevés (0-20 cm) avant et après l'essai dans les différents traitements et analysés au laboratoire Sol - Eau - Plante de Sotuba pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques. Ces analyses ont porté sur la granulométrie, le pH_{eau}, azote total (%N), phosphore assimilable (P ppm), capacité d'échange cationique (CEC, à l'acétate d'ammonium méq/100 g), carbone organique (%C), rapport C/N, bases échangeables (méq/100 g) : Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Potassium (K) et Sodium (Na).

2-2-6. Efficience d'utilisation de l'azote

Pour évaluer l'augmentation du rendement en grain due à l'application d'azote (kg grain/kg d'N), l'efficience d'utilisation de l'azote a été calculé en utilisant *l'Équation (1)* [18].

$$\text{Efficience d'azote} = \frac{\text{Rendement avec azote (kg/ha)} - \text{Rendement sans azote (kg/ha)}}{\text{Quantité d'azote apporté (kg/ha)}} \quad (1)$$

2-2-7. Analyse des données

Les données du rendement grain ont été analysées à l'aide du logiciel Genstat 20^{ème} édition avec l'application du test de Newman et Keuls au seuil de signification 5 % pour la comparaison des moyennes entre les traitements.

3. Résultats

3-1. Effets des traitements sur les caractéristiques du sol

La classe texturale est variable, limono-sableuse à limoneuse fine avec un taux moyen d'argile de 7 % dans les 20 centimètres et de 34 % de fraction limoneuse (*Tableau 1*). Le niveau du pH_{eau} qui était à 5,20 avant l'installation de l'essai a varié dans l'intervalle 5,41 à 5,44 pour l'ensemble des traitements et pendant toute la durée de l'expérimentation (2002 à 2018). Le taux du carbone organique qui était de 0,99 avant l'essai a baissé de 11 % au niveau du traitement (F3M1) avec l'application de 100 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ + 25 kg.ha⁻¹ K₂O, mais une variation de 0,91 % à 1,15 % du taux de carbone organique a été constaté dans les autres traitements (*Tableau 1*). La teneur en azote totale est semblable pour tous les traitements (0,02 % à 0,09 %), aussi bien que pour la capacité d'échange cationique (CEC) dont les valeurs sont inférieures à 10. Les niveaux du potassium échangeable étaient de 0,05 à 0,35 (Cmol⁺/kg) et le phosphore qui était de 16,93 ppm au début de l'expérimentation a connu une légère baisse de 5 % pour le traitement (F2M1) de 50 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅. Dans les autres traitements, la teneur du phosphore a variée entre 24,47 et 34,98 ppm, tandis que le sodium a été nul partout (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Effets des traitements sur les caractéristiques chimiques des sols après 17 années de monoculture du riz (2002 - 2018) et granulométrie

Paramètres	Avant essai	Traitements								
		F1M1	F1M2	F1M3	F2M1	F2M2	F2M3	F3M1	F3M2	F3M3
pHeau	5,20	5,43	5,42	5,41	5,41	5,41	5,37	5,40	5,39	5,44
%C	0,99	1,07	1,15	1,03	0,91	1,04	0,91	0,88	1,03	1,05
%N	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,06	0,06	0,04	0,09
C/N	16,43	35,77	28,71	34,41	45,53	34,8	15,18	14,69	25,81	11,66
P.ass ppm P	16,93	27,54	32,14	30,31	16,13	24,67	26,47	34,98	33,44	25,72
CEC.acétate	6,2	5,91	3,75	4,32	4,27	5,29	4,78	4,01	4,33	5,10
Ca.échangeable	1,56	2,96	1,51	1,81	1,79	2,62	2,13	1,59	1,81	2,37
Mg.échangeable	0,88	1,10	0,69	0,83	0,83	1,04	0,84	0,84	0,80	1,09
K.échangeable	0,13	0,15	0,05	0,19	0,16	0,11	0,31	0,08	0,22	0,35
Na.échangeable	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02
Sable % > 0,05 mm				59 %						
Limon fin % 0,05-0,002 mm				34 %						
Argile % < 0,002 mm				7 %						

3-2. Effets de l'application des différentes fumures sur le rendement grain du riz

Les résultats d'analyses de la variance de l'effet séparés des engrais chimiques et des sources organiques sur le rendement paddy ont montré une différence hautement significative (Prob <.001) entre les traitements (**Figure 3**). L'application d'engrais minéral (F3) à la dose de 100 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ + 25 kg.ha⁻¹ K₂O a permis d'obtenir le meilleur rendement de 2,6 kg.ha⁻¹ (**Figure 3A**), nettement supérieur de 6 % et de 17 % par rapport à l'apport (F2) de 50 kg.ha⁻¹ N + 20 kg.ha⁻¹ P₂O₅ et du témoin absolu (F1), respectivement. La même tendance a été observée avec la fertilisation organique, expliquant l'effet bénéfique de l'apport de 5 t.ha⁻¹ de fumier de bovin (M3) ayant produit 2,5 t.ha⁻¹ de riz paddy, plus important que celui de la restitution systématique des pailles (M2) et du témoin absolu (M1) (**Figure 3B**). L'analyse de la variance de l'interaction de la fertilisation organique et minérale, n'a montré aucune différence significative (Prob = 0,121) entre les traitements. Le rendement moyen est de 2393 kg.ha⁻¹ avec 26,3% comme coefficient de variation. En fonction de l'évolution des années, les résultats de l'analyse de la variance sur la variable rendement paddy ont montré qu'un faible rendement de 2 t.ha⁻¹ observé au début de l'expérimentation en 2002 a connu une augmentation très significative de 26 % en 3^{ème} année (2004). Après une baisse très significative de 34 % en 2005, le rendement a nettement augmenté en 5^{ème} année à 3,4 t.ha⁻¹ (**Figure 4**), beaucoup plus élevé que pour toutes années de l'essai (Prob <.001). Ce meilleur rendement a ensuite baissé avec une différence très significative de 50 % en 12^{ème} et 13^{ème} années (2013, 2014) avant d'être stable à 2,4 t.ha⁻¹ en moyenne jusqu'à la 17^{ème} année (2018), marquant la fin de l'expérimentation.

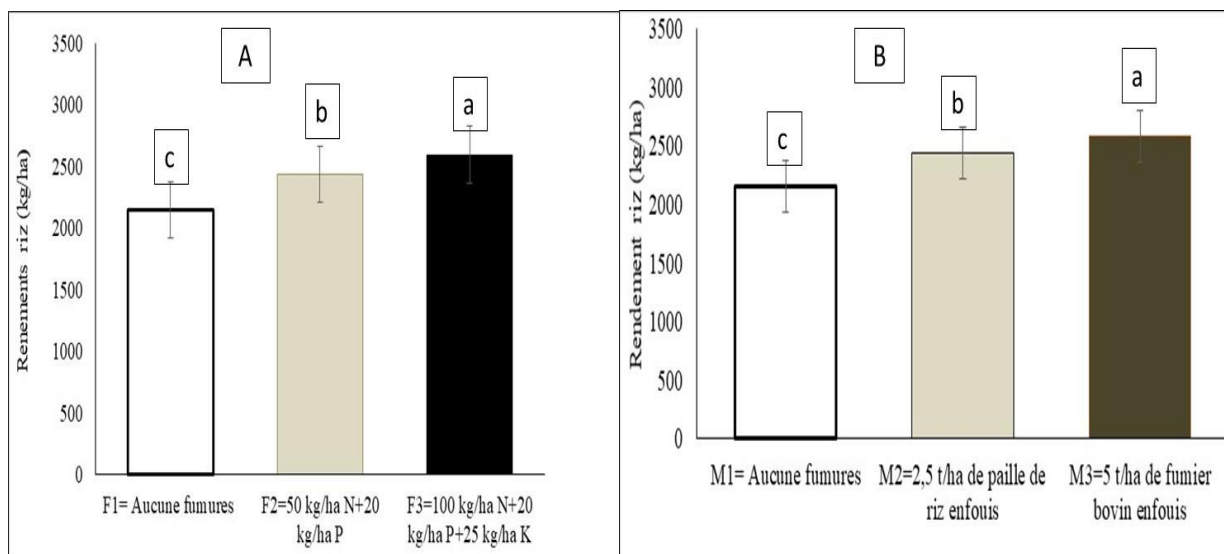


Figure 3 : Rendement moyen du riz des 17 années de culture en fonction de l'application de l'engrais minéral (A) et des sources organiques (B)

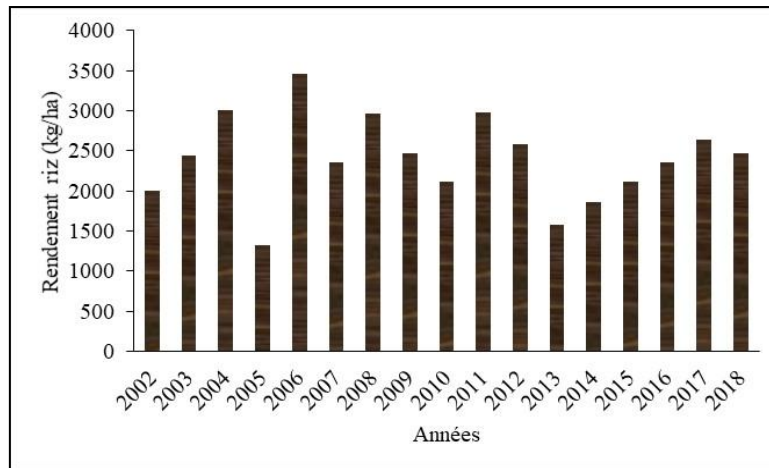


Figure 4 : Variation des rendements du riz paddy selon les années d'expérimentation (2002 - 2018)

3-3. Efficience de l'utilisation d'azote

L'efficience agronomique (E_a) de l'azote apporté à travers la fertilisation minérale a permis d'obtenir une augmentation supplémentaire de 5 à 6 kg de riz paddy pour chaque unité d'azote apporté, respectivement avec l'utilisation de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$.

4. Discussion

4-1. Caractéristiques physico-chimiques des sols des traitements

D'après nos résultats, la texture est essentiellement limono-sableuse, pauvre en argile dans les 20 centimètres. Le sol est fortement acide avec un taux moyen de matière organique. Les teneurs en azote total sont très faibles à déficientes avec une Capacité d'Echange Cationique (CEC) en dessous du seuil critique estimé à $10 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$. Cette faible variation de la CEC peut occasionner une faible répartition de la réserve en éléments nutritifs du sol. Cette faible CEC peut être liée à la faible teneur en argile (7 %) dans l'horizon de surface (0 à 20 cm). Le pourcentage de sodium échangeable est nul, attestant qu'il n'y a pas de risque de sodisation, alors que la teneur du potassium échangeable est aussi faible pour la plupart des traitements. La minéralisation des pailles de riz et des racines dans les conditions d'inondation des systèmes rizicoles peut expliquer le statut du sol. La décomposition des résidus est généralement plus lente en condition de submersion d'eau que dans un sol aéré [19]. En dessous de $0,2 \text{ méq}/100\text{g}$, [14] atteste que les réserves du sol en potassium ne supportent plus les besoins des cultures. Quant au phosphore assimilable, les teneurs sont satisfaisantes, attestant qu'il n'y a aucune carence de cet élément. Cette teneur moyenne de phosphore confirme le seuil critique fixé à 7 ppm et qu'au-delà de 20 ppm, [20] indiquent qu'il y a aucune application nécessaire de cet élément. Ceci a été soutenu par les travaux de [21] sur la limite critique du phosphore extractible pour la production du riz fixé de 9 à 17 ppm selon la méthode Bray 1 et Olsen. Les rapports C/N, montrent de valeurs indiquant l'existence d'une forte activité microbienne dans le milieu pour la minéralisation des matières organiques. Les caractéristiques physico-chimiques du sol ont montré une fertilité variable selon les éléments nutritifs [22, 23]. Cette faiblesse en éléments nutritifs du sol est attestée par la faible capacité d'échange cationique (CEC), beaucoup plus marquée au niveau des parcelles non fertilisées (F1M1) [24]. La connaissance des caractéristiques du sol constitue un élément clé de la fertilisation des sols. Cela a été attestée par [25, 26] dans ces travaux de fertilisation minérale en riziculture de bas-fond. En effet, pour réaliser un accroissement important des rendements de façon durable, le suivi régulier des caractéristiques chimiques des sols est nécessaire.

4-2. Variabilité du rendement riz selon les traitements expérimentés

Les résultats montrent que l'apport des nutriments provenant des engrais minéraux de formulation $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N} + 20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 + 25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, a permis d'obtenir le meilleur rendement de $2,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, plus grand de 6 % et 17 % par rapport à celui de l'apport de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N} + 20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ et du témoin absolu non fertilisé (F2), respectivement. Ce rendement est tout de même inférieur de 42 % à 48 % par rapport au potentiel productif de la variété (BW 348-1). Ceci peut s'expliquer par l'effet améliorateur de la fumure minérale dû à la quantité et à la complémentarité des éléments minéraux apportés par la fertilisation avec $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N} + 20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 + 25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ comparativement à l'apport de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N} + 20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ qui n'apporte pas de potassium. Ce résultat est en accord avec ceux de [13, 23] selon lesquels, l'une des options privilégiées pour l'amélioration des rendements en grains du riz. Ainsi, la dose de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N} + 20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5 + 25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ doit être recommandée comme dose optimale sur le riz de bas-fond. Des résultats analogues ont été trouvés par [27, 28] sur l'influence des fertilisants sur le rendement du riz de bas-fond et du sorgho. Cependant du fait que les bas-fonds soient le plus souvent pleins d'eau de pluie en période d'hivernage, constitue une contrainte à la valorisation des apports d'engrais. Les résultats d'analyses statistiques ont fait ressortir qu'avec les sources organiques, l'apport de $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de fumier de bovin a produit le plus grand rendement paddy, beaucoup plus élevé que celui de la restitution systématique des pailles de riz et du témoin absolu. Cette variation de rendement pourrait être liée à la nature et au niveau de décomposition des deux sources organiques. Le fumier bovin étant mieux minéralisé, il libère plus d'éléments comme l'azote, nécessaire au développement des plants de riz, comparativement aux pailles de riz dont la minéralisation est beaucoup plus lente. Plusieurs études [23, 24] soutiennent cette action bénéfique du fumier bovin pour la performante agricole et la durabilité. Cependant le très bas rendement observé dans les parcelles témoins (sans engrais minéraux, ni fumure organique) s'explique par le faible niveau de fertilité initiale des sols, attesté par plusieurs travaux [29, 30]. Cette pauvreté des sols est indexée comme l'une des causes majeures de la faible productivité agricole au Mali. Les résultats ont par ailleurs révélés que le rendement obtenu pendant la première année de l'expérience était seulement de $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ce faible rendement observé pendant cette première année serait probablement lié à la faible fertilité du sol attestée par les résultats d'analyse des échantillons de sol. [31] avait obtenu des rendements similaires avec des variétés ayant des caractéristiques semblables que celle utilisée par cette étude. Cependant, il y a une augmentation très significative de 26 % et 42 % de ce faible rendement en 3^{ème} et 5^{ème} année. Ces augmentations seraient liées à l'effet des fumures appliquées. La baisse de rendement enregistrée en 12^{ème} et 13^{ème} années de l'essai a été engendrée par les fortes pluies fréquentes qui ont suivi le repiquage du riz et qui ont inondée les parcelles. Ce qui n'a pas permis aux plants de riz de se développer normalement. Ces observations corroborent avec les travaux de [24, 32] à propos des pertes de rendement allant jusqu'à 33 % à cause des fortes quantité de pluie au cours du mois de Juillet, réduisant l'optimisation des fertilisants sur le riz.

4-3. Efficience de l'utilisation d'azote minérale sur le rendement du riz

L'apport de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'azote avec la fertilisation minérale (F2) a permis un accroissement supplémentaire de 6 kg grain/kgN , semblable à celle de la double de $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'azote (F3). Cette similitude d'efficience d'utilisation de l'azote peut s'expliquer d'une part, par les relations explicites entre les quantités d'azote appliqué et le rendement obtenu ; et d'autre part, par l'effet de synergie entre les quantités d'azote appliquées et celles mobilisées pour la production des grains de riz. L'apport de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'azote a certainement permis aux plants de riz de mieux capté l'azote de manière efficiente en limitant les pertes [33]. Ce qui corrobore avec les résultats des travaux de [34, 35] sur l'efficience de l'azote dans la fertilisation du riz. Une bonne efficience d'utilisation de l'azote sur le riz est impérative, vu le contexte économique et environnemental de plus en plus difficile [36]. Ainsi, le grand défi est de maximiser autant que possible l'effet des applications des engrais, notamment ceux azotés constituant la clé de la production rizicole.

5. Conclusion

La monoculture du riz réalisée à long terme selon les conditions de l'étude, montre un accroissement significatif du rendement riz avec un taux moyen de la matière organique du sol. Malgré la persistance du déficit de certains éléments nutritifs comme celui du phosphore et la forte acidité du sol, les rendements obtenus sont à mettre en relation avec l'effet des fumures. Les rendements dépendaient de la quantité et des types de fumures apportées, tandis que l'application de 50 kg d'azote à l'hectare a permis d'obtenir la même efficacité de l'utilisation de l'azote que la double dose de cette azote. L'apport de 50 kg d'azote à l'hectare peut être utilisée comme dose optimale pour la valorisation de l'azote en riziculture de bas-fond, notamment au stade initiation paniculaire. Toutefois, au regard de la dynamique des eaux de pluies pouvant entraîner une importante quantité de nutriments, il est nécessaire de considérer les aspects pratiques et économiques de fertilisation, en évaluant l'effet de l'écoulements des eaux sur la fertilité du sol.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent l'inexistence de conflit d'intérêt.

Financements

Le travail a été soutenu par plusieurs programmes : le PPAO / WAAPP (Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest) avec le financement de la Banque Mondiale, le PDRN (Programme de Diffusion du Riz NERICA) et le SAPEP (Programme d'Amélioration de la Productivité Agricole des petits exploitants) financé par la Banque Islamique de Développement (BID).

Remerciements

Nous rendons hommage à notre collègue Feu Baba SIDIBE pour les efforts consentis dans la mise en œuvre des essais, et remercions Lancina SOGODOGO pour la collecte des données. Nos sincères remerciements à l'endroit de tous ceux qui nous ont apporté leur contribution pour la réalisation de cette recherche et pour la production de cet article. Qu'ils trouvent ici toute notre reconnaissance.

Références

- [1] - B. K. KADRI, H. HALILOU, I. KARIMOU, Culture du mil [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br] et ses contraintes à la production: une revue. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13 (2019) 503, doi:10.4314/ijbcs.v13i1.40
- [2] - FAOSTAT *Food and Agriculture Data*. <http://www.fao.org/faostat/en/>; (consulté le 13 décembre 2023)
- [3] - B. N'DIAYE, A.B. KABOU. Adoption des nouvelles technologies rizicoles sur l'efficacité technique au Sénégal. *Science, Technologie, Développement*, (1) (2021)
- [4] - AFRICARICE Redynamisation du secteur rizicole en Afrique : une stratégie de recherche pour le développement 2011-2020. Cotonou, Bénin, (2012), ISBN 978-92-9113-357-4 (imprimé)
- [5] - M. DASYLVA, N. NDOUR, B. CAMARA, Contraintes au développement de l'agriculture urbaine dans les pays du Sud : cas de la commune de Ziguinchor au Sénégal. *Afrique SCIENCE*, 23 (4) (2023) 32 - 45
- [6] - V. B. BADO, K. DJAMAN, M. C. VALERE, Developing fertilizer recommendations for rice in Sub-Saharan Africa, achievements and opportunities. *Paddy and Water Environment*, 16 (2018) 571 - 586, doi:10.1007/s10333-018-0649-8

- [7] - V. B. BADO, A. BATIONO, Integrated management of soil fertility and land resources in Sub-Saharan Africa: involving local communities. *Advances in Agronomy*, (150) (2018) 1 - 33, doi:<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2018.02.001>
- [8] - A. I. LABIYI, H. SIGUE, D. C. OUATTARA, O. M. TRAORE, D. KOURA, Effet des pratiques innovantes endogènes de gestion durable des terres sur la performance technico-économique du réseau de producteurs dans la commune de Mani au Burkina Faso. Fertility management and soil conservation practices View project soil fertility, 15 (2019) 432 - 447
- [9] - MEADD Rapport de la troisième communication nationale du Mali à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques, Bamako, (2018) 121 p.
- [10] - M. R. DACKO, D. SANOGO, N. COULIBALY, D. SAGARA, Problématique d'accès des genres au ressources des bas-fonds, (2006) 6 p.
- [11] - O. BARIAU, Etude socio-économique d'un terroir villageois près de Sikasso (Sud- Mali). Importance du riz dans les systèmes de production. Institut Supérieur d'Outre- Mer (ISTON), Cergy-Pontoise), (1992)
- [12] - K. A. N'GUESSAN, K. E. KOUAKOU, K. A. ALUI, Y. A. KOUAME, Stratégies et pratiques paysannes de gestion durable de la fertilité des sols dans le département de Korhogo au Nord de la Côte d'Ivoire. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>. *Afrique SCIENCE*, 15 (2019) 245 - 258
- [13] - H. AMADOUN, K. SANOGO, F. CISSE, K. YATTARA, Potentiel d'adaptation des variétés de riz à la variabilité climatique et estimation du stock de carbone aérien des espèces végétales en riziculture pluviale au Mali. *Science et technique, Sciences naturelles et appliquées, spécial ho*, (2018) 199 - 213
- [14] - A. BATIONO, T. FAIRHURST, K. GILLER, V. KELLY, R. LUNDUKA, A. MANDO, P. MAPFUMO, G. ODUOR, D. ROMNEY, B. VANLAUWE, Manuel de gestion intégrée de la fertilité des sols. Consortium Africain pour la Santé des Sols, Nairobi, Edité par Thomas Fairhurst (CTA), (2015) 179 p.
- [15] - A. IBRAHIM, K. SAÏTO, V. B. BADO, M. C. S. WOPEREIS, Thirty years of agronomy research for development in irrigated rice-based cropping systems in the West African Sahel: Achievements and perspectives. *Field Crops Research*, 266 (2021) 108149, doi:10.1016/j.fcr.2021.108149
- [16] - V. B. BADO, K. DJAMAN, M. C. VALERE, Managing fertilizer recommendations in rice-based cropping systems challenges and strategic approaches. Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems, Vol. 1, (2018) 25 - 50, doi:10.1007/978-3-319-58789-9_3
- [17] - M. SARRA, S. TRAORE, S. THIerno, M. SOUMARE, Manifestations de la variabilité et du changement climatique perçues par les producteurs de bas-fond dans la commune rurale de Doumanaba au Mali. *African Scientific Journal*, (03) (2022) 141 - 159, doi:10.5281/zenodo.6779723
- [18] - G. OLIVIER, Proposition de nouveaux indicateurs d'efficience d'utilisation de l'azote à l'échelle du système de production agricoles et du territoire. Thèse Agro Campus Ouest, Université Européenne de Bretagne, *Spécialité Biologie et Agronomie*, (2014) 134 p.
- [19] - B. V. BADO, A. AW, M. NDIAYE, Long-term effect of continuous cropping of irrigated rice on soil and yield trends in the Sahel of West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88 (1) (2010) 133 - 141. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9355-7>
- [20] - K. TRAORE, B. TRAORE, J. B. AUNE, B. TRAORE, B. COULIBALY, D. TOGO, Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des sols de décrue à Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané. Physico-chemical Characteristics of Soil Surface Horizons in Flood Receding Areas of Gory, Dougoubara and Yaguiné villages in. CHAPITRE 4 : LE SYSTÈME DE DÉCRUE DE YÉLIMANÉ EN ZONE SAHÉLIENNE AU MALI, (2020) 131 - 145
- [21] - B. V. BADO, M. E. D. VRIES, S. M. HAEFELE, M. C. S. MARCO, M. K. NDIAYE, Critical limit of extractable phosphorous in a gleysol for rice production in the Senegal River Valley of West Africa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39 (2008) 202 - 206, doi:10.1080/00103620701759178

- [22] - Z. BASSOLE, I. P. YANOGO, F. T. IDANI, Caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le bas-fond de Goundi-Djoro (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17 (2023) 247 - 266, doi:10.4314/ijbcs.v17i1.18
- [23] - F. ZADI, A. BOUET, F. BAHAN, G. NOUMOUHA, I. BEUGRE, Effet du compost à base de paille de riz sur le rendement du riz de bas-fond cultivé sur la station de recherche CNRA de Man à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16 (2022) 2595 - 2601, doi:10.4314/ijbcs.v16i6.11
- [24] - E. L. SOSSA, Arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du niebe (*Vigna unguiculata*) sur la production du riz de bas-fond dans un système de culture riz- maraîchage. Mémoire DEA, en sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi (UAC), (2012) 51 p.
- [25] - F. ZADI, B. KONE, K. R. N. GANZOUA, F. BAHAN, A. OUATTARA, Fertilisation minérale en riziculture de bas-fond sur fluvisols en zone Guinéenne : cas du M'BE Foro Foro à Bouaké, au centre de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 35 (2) (2023) 347 - 352
- [26] - K. P. KOUADIO, K. E. YOBOUE, K. KAN, H. KOUADIO, Caractéristiques morpho-pédologiques des sols d'Ahoué dans la Sous-Préfecture de Brofodoumé, Sud-Est Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 15 (2019) 140 - 150
- [27] - S. E. SONDI, C. T. MUBETENEH, A. E. NOUCK, A. T. IFOUET, D. ESSOME, V. D. TAFFOUO, Influence des fertilisants NPK et fiente de poule sur la croissance, les teneurs en composés organiques et le rendement de trois variétés de sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) dans la zone agro-écologique des hauts plateaux de l'ouest à Nkongsamba au Cameroun. *Agronomie Africaine*, 35 (1) (2023) 41 - 52
- [28] - I. G. YACOUBA, S. Y. AMIR, G. YADJI, S. SIDIKOU, Caractérisation agronomique de la riziculture des bas-fonds au Niger : cas du dallol Bosso. *Journal of Applied Biosciences*, 182 (2023) 19018 - 19041, doi:https://doi.org/10.35759/JABs.182.4
- [29] - Z. SEGDA, L. P. YAMEOGO, Z. GNANKAMBARY, P. M. SEDOGO, Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 36 (2013) 35 - 46
- [30] - P. L. YAMEOGO, Z. SEGDA, D. DAKUO, M. P. SEDOGO, Placement profond de l'urée (PPU) et amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote en riziculture irriguée dans le périmètre rizicole de Karfiguela au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, 70 (2013) 5523 - 5530, doi:10.4314/jab.v70i1.98749
- [31] - A. S. P. NGUETTE, R. G. GUEÏ, S. DIATTA, Contribution à l'identification de variétés performantes de riz inondé (*Oryza* sp) dans la région subéquatoriale du Congo-Brazzaville. *Afrique SCIENCE*, 01 (2005) 81 - 93
- [32] - M. MANZELLI, E. FIORILLO, M. BACCI, V. TARCHIANI, La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal (Moyenne Casamance) : enjeux et perspectives pour la pérennisation des actions de réhabilitation et de mise en valeur. *Cahiers Agricultures*, 24 (2015) 301 - 312, doi:10.1684/agr.2015.0772
- [33] - C. ROSY, Identification des facteurs environnementaux et agronomiques affectant la réponse à la fertilisation microdose dans le sud du Burkina Faso. Thèse de Doctorat, Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, prom : Biielders, Charles, (2019) 104 p.
- [34] - M. P. TAHINARIVONYP, Etude comparative de l'efficacité d'utilisation de l'azote provenant de trois formes d'engrais azotés dans la riziculture de bas-fonds. Université d'Antananarivo faculté des sciences, (2015) 63 p.
- [35] - R. L. TATIANA, Etude des bases génétiques de l'efficacité de l'utilisation de l'azote du riz pluvial (*Oryza sativa* L.) à Madagascar. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, *Sciences et Technologies*, (2019) 138 p.
- [36] - J. P. GOFFART, M. ABRAS, F. ABDALLAH, Ben Gestion de la fertilisation azotée des cultures de plein champ. Perspectives d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote sur base du suivi du statut azoté de la biomasse aérienne. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 17 (S1) (2013) 221 - 230